



مجلة بحوث

جامعة حلب في المناطق المحررة

المجلد الثاني - العدد الأول - الجزء الأول

1444 / 8 / 22 هـ - 2023 / 3 / 15 م

علمية - ربعية - محكمة

تصدر عن

جامعة حلب في المناطق المحررة



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الهيئة الاستشارية لمجلة جامعة حلب في المناطق المحررة

د. جلال الدين خانجي أ.د. زكريا ظلام أ.د. عبد الكريم بكار
أ. د إبراهيم أحمد الديبو أ.د. أسامة اختيار د. أسامة القاضي
د. يحيى عبد الرحيم

هيئة تحرير مجلة جامعة حلب في المناطق المحررة

رئيس هيئة التحرير: أ.د. عبد العزيز الدغيم

نائب رئيس هيئة التحرير: أ.د. عماد برق

أعضاء هيئة تحرير البحوث التطبيقية	أعضاء هيئة تحرير البحوث الإنسانية والاجتماعية
أ.د. أحمد بكار	أ.د. عبد القادر الشيخ
أ.د. جواد أبو حطب	د. جهاد حجازي
أ.د. عبد الله حمادة	د. ضياء الدين القالاش
أ.د. محمد نهاد كردية	د. سهام عبد العزيز
د. محمد يعقوب	د. ماجد عليوي
د. كمال بكور	د. أحمد العمر
د. مازن السعود	د. عامر مصطفى
د. محمود موسى	د. عدنان مامو
د. عمر زكريا	

أمين المجلة: هاني الحافظ

مجلة جامعة حلب في المناطق المحررة

مجلة علمية محكمة فصلية، تصدر باللغة العربية، تختص بنشر البحوث العلمية والدراسات الأكاديمية في مختلف التخصصات، تتوفر فيها شروط البحث العلمي في الإحاطة والاستقصاء ومنهج البحث العلمي وخطواته، وذلك على صعيدي العلوم الإنسانية والاجتماعية والعلوم الأساسية والتطبيقية.

رؤية المجلة:

تتطلع المجلة إلى الريادة والتميز في نشر الأبحاث العلمية.

رسالة المجلة:

الإسهام الفعّال في خدمة المجتمع من خلال نشر البحوث العلمية المحكمة وفق المعايير العلمية العالمية.

أهداف المجلة:

- نشر العلم والمعرفة في مختلف التخصصات العلمية.
- توطيد الشراكات العلمية والفكرية بين جامعة حلب في المناطق المحررة ومؤسسات المجتمع المحلي والدولي.
- أن تكون المجلة مرجعاً علمياً للباحثين في مختلف العلوم.

الرقم المعياري الدولي للمجلة ISSN: **2957-8108**

البريد الإلكتروني: info@journal-fau.com

الموقع الإلكتروني للمجلة: <https://journal-fau.com>

معايير النشر في المجلة:

- 1- تنشر المجلة الأبحاث والدراسات الأكاديمية في مختلف التخصصات العلمية باللغة العربية.
- 2- تنشر المجلة البحوث التي تتوفر فيها الأصالة والابتكار، واتباع المنهجية السليمة، والتوثيق العلمي مع سلامة الفكر واللغة والأسلوب.
- 3- تشترط المجلة أن يكون البحث أصيلاً وغير منشور أو مقدم لأي مجلة أخرى أو موقع آخر.
- 4- يترجم عنوان البحث واسم الباحث والمشاركين أو المشرفين إن وجدوا إلى اللغتين التركية والانكليزية.
- 5- يرفق بالبحث ملخص عنه باللغات الثلاث العربية والإنكليزية والتركية على ألا يتجاوز 200-250 كلمة، وبخمس كلمات مفتاحية مترجمة.
- 6- يلتزم الباحث بتوثيق المراجع والمصادر وفقاً لنظام جمعية علم النفس الأمريكية (APA7).
- 7- يلتزم الباحث ألا يزيد البحث على 20 صفحة.
- 8- ترسل البحوث المقدمة لمحكمين متخصصين، ممن يشهد لهم بالنزاهة والكفاءة العلمية في تقييم الأبحاث، ويتم هذا بطريقة سرية، ويعرض البحث على محكم ثالث في حال رفضه أحد المحكمين.
- 9- يلتزم الباحث بإجراء التعديلات المطلوبة خلال 15 يوماً.
- 10- يبلغ الباحث بقبول النشر أو الاعتذار عنه، ولا يعاد البحث إلى صاحبه إذا لم يقبل، ولا تقدم أسباب رفضه إلى الباحث.
- 11- يحصل الباحث على وثيقة نشر تؤكد قبول بحثه للنشر بعد موافقة المحكمين عليه.
- 12- تعبر الأبحاث المنشورة في المجلة عن آراء أصحابها، لا عن رأي المجلة، ولا تكون هيئة تحرير المجلة مسؤولة عنها.

جدول المحتوى:

- أثر روحانية مكان العمل في سلوكيات الدور الزائد لدى العاملين " دراسة ميدانية على العاملين في جامعة حلب في المناطق المحررة" 7
أ. جلال مرعي العيسى د. محمود علي عريض
- مستوى الإحساس بالمضايقة في مكان العمل لدى العاملين في القطاع الصحي في مدينة عفرين 39
أ. عماد محمد كعكو د. محمود علي عريض
- أثر قاعدة المثقفة تجلب التيسير في بعض المسائل الطبية 77
أ. عبد الرحيم محمد الزياي د. عبد الرحمن عزيزي
- أثر الردة على العبادات (الوضوء- الصلاة- الصوم- الزكاة- الحج) 99
أ. عبد المجيد بدوي د. عبد الرحمن عزيزي
- اثر التعليم الإلكتروني في التحصيل العلمي للطلاب في مقررات المحاسبة (دراسة تطبيقية على طلاب كلية الاقتصاد في جامعة حلب في المناطق المحررة) 125
د. مالك السليمان
- استراتيجيات التعلم المعرفية وعلاقتها برفع الإنجاز الأكاديمي لدى عينة من طلبة كلية التربية في جامعة حلب في المناطق المحررة. 167
أ. حنان حمادي د. سهام عبد العزيز أ.د. عماد برق
- الشعر السياسي في الثورات العربية 211
د. محمد رامز كورج
- مصادر الصورة في شعر الحنيفية 241
أ. عبد العزيز نجار د. محمد رامز كورج أ.د. أسامة اختيار
- تصميم متحكم بارامتري للتحكم بجملته عربية مزودة بذراع 271
أ. عبد الرحمن حسين د. محمد عطا الكدع



تصميم متحكم بارامتري للتحكم بجملة عربية مزودة بذراع

إعداد

أ. عبد الرحمن حسين د. محمد عطا الكدع

ملخص البحث:

تم انجاز هذا البحث باستخدام منهجية تحكم تعتمد على النموذج البارامتري للنظام لأجل التحكم لجملة "عربة - ذراع"، حيث ينتج هذا النموذج عن ترابط مجموعة من الأنظمة الخطية ذات قيم مختلفة لبارامترات الجملة المدروسة، حيث يتغير فضاء الحالة ضمن فراغ محدد، يمتلك عدداً من الزوايا يتناسب مع عدد البارامترات المرتابة. يتم حل مجموعة من متراجحات ريكاتي (Linear Matrix Inequality) لأجل حساب ثوابت الربح لشعاع التحكم الذي يؤمن استقرار النظام وتحقيق أداء ديناميكي جيد مع مراعاة أن تكون قيمة الطاقة المقدمة للنظام عند أقل قيمة ممكنة.

تم إجراء دراسة مقارنة بين أداء المتحكم البارامتري القوي وبين أداء المنظمات التقليدية PID حيث تظهر نتائج المحاكاة في بيئة البرنامج الرياضي الهندسي MATLAB\Simulink تفوق النظام المصمم وفق منهجية التحكم المستخدمة بالمقارنة مع استخدام المنظمات التقليدية فهو يحقق ملاحقة دقيقة وسريعة للإشارات المرجعية المطلوبة من أجل التحكم بموضع العربة، أو من أجل التحكم بالموضع الزاوي للذراع، وعلى الرغم من تغير كتلة العربة، كما يمتاز نظام التحكم المصمم بأنه ذو كفاءة أكبر بالتغلب على الاضطرابات الخارجية المؤثرة على النظام، ونستطيع القول هنا إن منهجية التحكم المستخدمة مقارنة مع المنظمات التقليدية PID، تساهم بتحسين أداء النظام المدروس مع الحفاظ على قيمة الطاقة المقدمة للنظام ضمن القيم الاسمية، والحفاظ على سهولة التطبيق العملي.

كلمات مفتاحية: تحكم بارامتري، نظام مرتاب، منظمات تقليدية، ذراع روبوت.



Parametric Controller Design for Control of Car – Robot Arm System

Prepared by:

Mr. AbdulRahman Hussain Dr. Muhammad Atta Al-Kadaa

Abstract:

This research was carried out in order to present a control methodology based on the parametric model of the system for the control of the "cart - arm".

Where this model results from the interconnection of a group of linear systems with different values of the parameters of the studied system, where the state space changes within a specified space, it has a number of angles proportional to the number of suspicious parameters. Resolving a set of LMI's Linear Matrix Inequality inequalities

In order to calculate the gain constants for the control vector, which ensures the stability of the system and achieves good dynamic performance, taking into account that the value of the energy supplied to the system is at the lowest possible value.

A comparative study was conducted between the performance of the RPQI controller and the performance of traditional organizations (PID), where simulation results appear in the environment of the mathematical engineering program MATLAB\Simulink. The superiority of the system designed according to the used control methodology compared to the use of traditional organizations, it achieves accurate and fast tracking of the required reference signals in order to control the position of the vehicle, or in order to control the angular position of the arm, Although the mass of the vehicle has changed.

The designed control system is also more efficient in overcoming external disturbances affecting the system, we can say here that the used control methodology compared to the traditional PID organizations, contributes to improving the performance of the studied system while maintaining the value of the energy provided to the system within the nominal values, and maintain ease of practical application.

Keywords: parametric controller, PI Controller, Affine/polytypic, robotic arm.

Bom arabası tertibatını kontrol etmek için parametrik kontrolör tasarımı

Hazırlayanlar

Öğr.Gör. Abdul Rahman Hüseyin Dr. Muhammed Atta El-Kadaa

Araştırma özeti:

Bu araştırma, "araba" sisteminin kontrolü için sistemin parametrik modeline dayalı bir kontrol metodolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu model, çalışılan cümlelerin parametrelerinin farklı değerlerine sahip bir grup doğrusal sistemin birbirine bağlı olmasından kaynaklanır. Durum uzayı, sıralanan parametrelerin sayısı ile orantılı bir dizi açığına sahip belirli bir uzay içinde değişir .

Sistemin kararlılığını sağlayan ve iyi dinamik performans sağlayan kontrol ışıını için kazanç sabitlerini hesaplamak için bir dizi Doğrusal Matris Eşitsizliği (LMI), sisteme sağlanan enerjinin değerinin mümkün olan en düşük değerde olduğu dikkate alınarak çözülür.

Güçlü parametrik denetleyicinin performansı ile geleneksel PID denetleyicilerin performansı arasında karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. MATLAB/Simulink matematik mühendisliği programı ortamındaki benzetim sonuçları, kullanılan kontrol metodolojisine göre tasarlanan sistemin geleneksel regülatörlerin kullanımına göre üstünlüğünü göstermektedir. Tasarlanan sistem, arabanın kütledeki değişime rağmen, arabanın konumunu kontrol etmek veya kolun açısal konumunu kontrol etmek için gereken referans sinyallerinin doğru ve hızlı takibini sağlar ve sistemi etkileyen dış etkenlerin üstesinden gelerek daha verimlidir. Burada kullanılan kontrol metodolojisinin, geleneksel PID regülatörleri ile karşılaştırıldığında, sisteme sağlanan enerjinin değerini nominal değerler içerisinde tutarken ve pratik uygulama kolaylığını korurken, çalışılan sistemin performansının iyileştirilmesine katkıda bulunduğunu söyleyebiliriz.

Anahtar Kelimeler: parametrik kontrol, parametrik sistem, geleneksel regülatörler, robotik kol.

1- مقدمة:

تعتبر طرائق التحكم التقليدي مألوفة لمعظم المهندسين والباحثين في مجال الهندسة الكهربائية والإلكترونية والميكانيكية، وهي تستخدم لدراسة أنظمة خطية غير متغيرة مع الزمن Linear Time Invariant (LTI). وتهدف لجعل النظام مستقراً وأن يكون ذا تابع ربح حلقة مغلقة مساو للواحد، ولكن الهدف الذي يجب العمل على تحقيقه هنا هو تحسين أداء النظام بزيادة سرعة الاستجابة الزمنية العابرة ودقة الملاحقة، وإلغاء الخطأ الستاتيكي في الحالة المستقرة والحد من تأثير الاضطرابات الخارجية، والتعامل مع تغير البرمترات وعدم دقة التقريب الرياضي للنظام. فجمال التحكم تكون غالباً ذات برمترات متغيرة عدا عن كونها ذات نموذج رياضي غير خطي [1] ، ومن هنا تأتي أهمية التحكم البرامترى في قدرته على بناء وتصميم متحكمات قادرة على تحقيق استقرار النظام وتحسين أدائه الديناميكي وعلى الرغم من تغير برمترات النظام أو في ظل وجود اضطرابات داخلية أو خارجية قد تؤثر عليه [2]. يتم نمذجة جملة التحكم المدروسة بطرائق جديدة تساهم بتحقيق مطابقة كبيرة لجملة التحكم الحقيقية مما ينعكس بشكل واضح على تحسين الأداء الديناميكي للنظام.

يوجد عدة أبحاث تم إنجازها في مجال التحكم بجملة عربية -ذراع، تم تصميم متحكم عائم FLC (Fuzzy Logic Controller)، ومقارنة طريقتي التحكم الضبابي المشابه للتحكم التناسبي التكاملي (FLC like PI) و (FLC like PD)، وعرض نتائج المحاكاة في بيئة MATLAB التي اوضحت تفوق المنهجية الأولى في سرعة الاستجابة ودقة ملاحقة الإشارة المرجعية والتغلب على الاضطرابات الخارجية [3].

تم دراسة وتصميم منصة منخفضة التكلفة لإجراء بعض التجارب المخبرية على جملة عربية-نواس مقلوب في [5].

أيضاً تم دراسة المعادلات الديناميكية ومعالجة مسألة التحكم في الاهتزازات لنواس مقلوب تحت الماء، حيث تم الحصول على معادلات الحركة للنظام باستخدام معادلة لاغرانج. اعتمد البحث على تقنية التحكم الاهتزازي (VIBRATIONAL CONTROL) من أجل أن تستقر جملة التحكم بنجاح تحت الماء على الرغم من تأثير القوى الهيدروديناميكية [6].

في [7] هنا تم تصميم وحدة تحكم قوية H_{∞} (H Infinite) للتحكم بالذراع في المجال الزمني المتقطع حيث تم اختبار أداء النظام لأجل أطوال مختلفة لطول وصلة الذراع، وقد أظهرت النتائج العملية فعالية النظام المقترح.

في [8] تم حل مسألة استقرار نظام العربة- الذراع بتصميم متحكم انزلاقي في المستوى العالي، حيث تعتمد إشارات التحكم فيه على أوضاع الانزلاق المتكاملة وخوارزمية الالتواء الفائق (Super-Twisting) [8].

في هذا البحث نستخدم منهجية تحكم قوية تعتمد على النموذج البرامتري للنظام المدروس وتقدم قانون تحكم خطي سهل التطبيق، وذا أداء ديناميكي عال يحقق استجابة سريعة وملاحقة دقيقة للإشارات المرجعية في ظل تغير برمترات النظام إضافة إلى وجود اضطرابات داخلية أو خارجية قد تؤثر على سلوكه.

2- هدف البحث وأهميته:

تكمن أهمية البحث بتقديم قانون تحكم خطي يحقق استقرار النظام، ويقلل الطاقة المقدمة إليه إلى الحد الأدنى وذلك باعتماده على منهجية قوية لبناء نظام تحكم بجملة عربة - ذراع، تستند منهجية التحكم المقترح استخدامها من أجل حل جملة من متراجحات ريكاتي

LMI (Linear Matrix Inequality).

واعتمد هذا البحث على منهجية تحكم قوية لتصميم نظام تحكم بجملة عربة- ذراع ذات استقرار جيد وأداء عال، من خلال دراسة تغير برمترات النظام (كتلة العربة وكتلة الذراع)، وتحصيل فضاء الحالة عند كل تغير لقيمتها، حيث ينتج مجموعة من الأنظمة الخطية غير المتغيرة مع الزمن، يطلق عليها النموذج المرتاب (polytypic/Affine)[4] ، ومن أجل حساب ثوابت شعاع التحكم يجب حل مجموعة من متراجحات ريكاتي الخطية الجبرية عند كل زوايا الفراغ الذي تتغير فيه البرمترات (off-line). ينتج عن تطبيق هذه المنهجية قانون تحكم خطي سهل التطبيق في الزمن الحقيقي قادر على تحقيق استقرار النظام وتحسين أدائه على كامل المجال الذي تتغير فيه برمتراته.

تظهر النتائج في بيئة برنامج (MATLAB) قوة النظام الذي يستخدم هذه المنهجية مقارنة مع المنظمات التقليدية، وقدرته على تحقيق ملاحظة دقيقة وسريعة للإشارات المرجعية على الرغم من تغير برمتراته بوجود اضطرابات خارجية.

يتميز النموذج الرياضي لجملة عربة-ذراع بأنه يحتوي على برمترات متغيرة ضمن مجال محدد، إضافة إلى وجود ارتباط بين إشاراتها، لذا فإن نظام تحكم يعتمد على المنظمات التقليدية أو المتحكمات الخطية سيكون ذا أداء ديناميكي أقل كفاءة من أداء نظام تحكم يعتمد منهجيات التحكم القوية، تمت دراسة كلا النظامين ومقارنتهما، ودراسة تأثير تغير برمترتهما على أداء الجملة المدروسة.

يهدف البحث إلى بناء نظام تحكم قوي ذي برمترات أداء تفوق تلك التي تحققها المنظمات التقليدية. لأجل تنظيم موضع العربة على المحور X والموضع الزاوي للذراع في المستوى Y. وتم خلال البحث إجراء دراسة ومقارنة أداء المنظمات التقليدية (المتحكمات الكلاسيكية) مع منهجيات التحكم القوية وتوضيح مدى تأثير تغير برمترات النظام على أداء جملة التحكم، حيث تمتاز منهجيات التحكم المدروسة بأنها تقدم سرعة استجابة أكبر والحفاظ على استقرار النظام على الرغم من تغير برمترات النظام أو حدوث اضطرابات خارجية تؤثر على سلوك النظام، علماً أن قانون التحكم من أجل

المنهجية المدروسة يمتاز بأنه قانون خطي سهل التطبيق.

3- فرضية البحث:

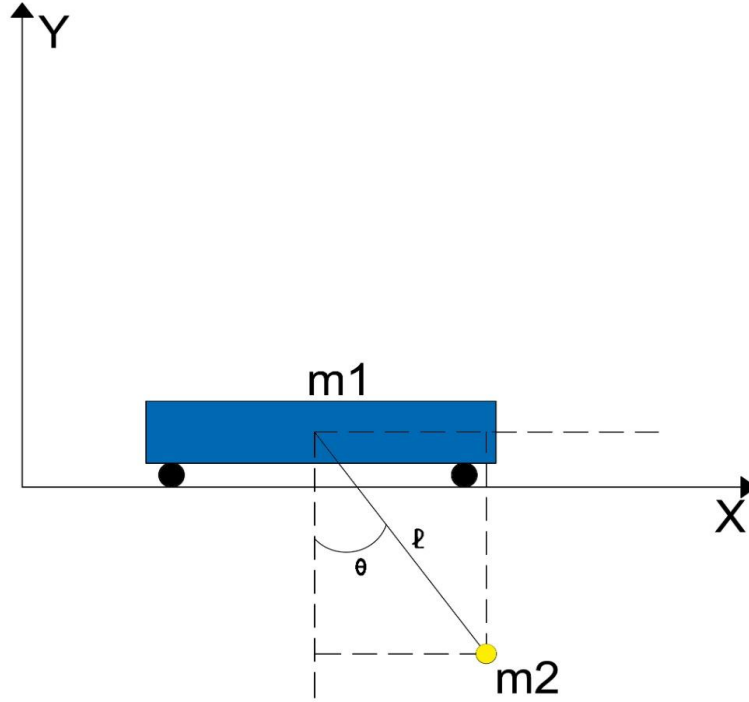
اعتمد البحث على قوانين أويلر-لاغرانج لاستنتاج النموذج الرياضي لجملة التحكم انطلاقاً من استنتاج معادلات الطاقة الحركية والطاقة الكامنة، ثم تشكيل تابع لاغرانج ليتم بعد ذلك استنتاج معادلات العزم والقوة المطبقين على جملة التحكم لأجل نقلها للموضع المطلوب. وأهملت الحدود غير الخطية في النموذج الرياضي للنظام كالتالي تحوي على إشارات Sin أو Cos ثم أعيدت صياغة النموذج الرياضي لجملة التحكم وفق النموذج المرتاب (Affine/polytypic) لاحتساب تغير الكتلة أثناء تصميم المتحكم، حيث يتم الاعتماد على كود LMI في برنامج الماتلاب (MATLAB/Simulink) لحساب ثوابت الربح على كامل مجال تغير الكتلة.

4- نتائج البحث:

1- النموذج الرياضي للنظام المدروس:

تتألف جملة التحكم المدروسة من عربة تحمل ذراع روبوت بدرجة حرية واحدة، كما هو مبين في

الشكل (1)



الشكل (1) المخطط التمثيلي لجملة النظام المدروس

حيث:

(l) طول الذراع.

(θ) زاوية الذراع بالنسبة للشاقول.

(m_1) كتلة العربة.

(m_2) كتلة الذراع.

(g) تسارع الجاذبية الأرضية.

1-1- إيجاد النموذج الرياضي للنظام:

القيم الاسمية لبارامترات النظام موضحة في الجدول (1).

جدول (1): القيم الاسمية لبارامترات النظام

m_1	0.3 kg	كتلة العربة
m_2	0.3 kg	كتلة الذراع
L	0.2 m	طول الذراع
G	9.8 m/sec^2	تسارع الجاذبية الأرضية

1-1-1- استنتاج معادلة الطاقة الحركية للنظام:

تعطى الطاقة الحركية للعربة وفق العلاقة الآتية:

$$K_C = \frac{1}{2} m_1 V_C^2 = \frac{1}{2} m_1 \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \quad (1)$$

أما الطاقة الحركية للذراع فتعطى وفق العلاقة الآتية:

$$K_P = \frac{1}{2} m_2 V_P^2 = \frac{1}{2} m_2 \left[\left(\frac{dx}{dt} + \ell \frac{d\theta}{dt} \cos\theta \right)^2 + \left(\ell \frac{d\theta}{dt} \sin\theta \right)^2 \right] \quad (2)$$

1-1-2- استنتاج معادلة الطاقة الكامنة:

الطاقة الكامنة للعربة تعطى وفق العلاقة الآتية:

$$u_C = 0 \quad (3)$$

أما الطاقة الكامنة للذراع فهي تعطى وفق العلاقة الآتية:

$$u_P = -m_2 g \ell \cos\theta \quad (4)$$

1-1-3- تشكيل تابع لاغرانج:

تابع لاغرانج تعبر عنه العلاقة الآتية (مجموع الطاقات الحركية - الطاقات الكامنة):

$$L = K_C + K_P - U_C - U_P \quad (5)$$

إذاً بتعويض المعادلات السابقة (1)، (2)، (3)، (4) وبعد الإصلاح نجد:

$$L = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \frac{1}{2}m_2(\ell^2\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + 2\ell\frac{dx}{dt}\frac{d\theta}{dt}\cos\theta) + m_2g\ell\cos\theta \quad (6)$$

1-1-4- معادلة القوة المطبقة على العربة تعطى بالشكل الآتي:

$$F = \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial}{\partial x'}(L)\right) - \frac{\partial}{\partial x}(L) \quad (7)$$

بتعويض المعادلة (6) في المعادلة (7) وبعد الإصلاح نجد:

$$F_1 = (m_1 + m_2)\frac{d^2x}{dt^2} + m_2\ell\frac{d^2\theta}{dt^2}\cos\theta - \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2m_2\ell\sin\theta \quad (8)$$

1-1-5- معادلة العزم المطبق على الذراع تعطى بالشكل الآتي:

$$T = \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial}{\partial \theta'}(L)\right) - \frac{\partial}{\partial \theta}(L) \quad (9)$$

بتعويض المعادلة (6) في المعادلة (9) وبعد الإصلاح نجد:

$$T = m_2\ell^2\frac{d^2\theta}{dt^2} + m_2\ell\frac{d^2x}{dt^2}\cos\theta - m_2\ell\frac{dx}{dt}\frac{d\theta}{dt}\sin\theta + m_2\ell\left(\frac{dx}{dt}\frac{d\theta}{dt} + g\right)\sin\theta \quad (10)$$

وبالتالي يمكن كتابة النموذج الرياضي للجملة المدروسة وفق الشكل الآتي:

$$F = (m_1 + m_2)X'' + m_2\ell\theta''\cos\theta - \theta'^2m_2\ell\sin\theta \quad (11)$$

$$T = m_2\ell^2\theta'' + m_2\ell X''\cos\theta + m_2\ell g\sin\theta \quad (12)$$

والتي تعتبر معادلات الدراسة للنظام، بفرض:

$$\cos(\theta) = 1 \quad \& \quad \sin(\theta) = \theta \quad \& \quad \dot{\theta}^2 = 0$$

وبعد الإصلاح والتعويض في المعادلتين (11) و (12) نحصل على الشكل المصفوفي للمعادلتين:

$$\begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = M^{-1} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -m_2gL \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \theta \end{bmatrix} + M^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F \\ T \end{bmatrix} \quad (13)$$

حيث:

$$M = \begin{bmatrix} m_1+m_2 & m_2L \\ m_2L & m_2L^2 \end{bmatrix}$$

نفرض:

$$x_1 = x \quad x_2 = \dot{x} \quad x_3 = \theta \quad x_4 = \dot{\theta}$$

وبتعويض قيم البرمترات حسب قيمها وفق الجدول (1) وبإصلاح المعادلة (13) نجد:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 9.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -98 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 3 & -16 \\ 0 & 0 \\ -16 & 166 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F \\ T \end{bmatrix} \quad (14)$$

2- النموذج (Polytopic\Affine):

يتم بناء النموذج من أجل قيم مرتابة لبرمترات النظام، حيث إن هذه القيم تتغير ضمن مجال محدد، فيتشكل لدينا فراغ محدد لفضاء الحالة للنظام، له عدد من الزوايا k ، وعند كل زاوية من هذا الفراغ يكون لدينا نظام خطي غير متغير مع الزمن. يسمى النظام الناتج عن ترابط هذه الأنظمة بالنموذج

(Polytopic\Affine) ويمثل وفق المعادلة الآتية:

$$\dot{x} = \sum_{k=1}^n \lambda_k (A^{(k)}x + B^{(k)}u); \quad \sum_{k=1}^n \lambda_k = 1 \quad (15)$$

حيث $A^{(k)}, B^{(k)}$ مصفوفات ديناميك ودخل النظام عند الزاوية k ، من الفراغ الذي تتغير فيه

بارامترات النظام.

2- قانون التحكم وفق منهجية التحكم

:RPQI (Robust Parametric Quadratic Index)

التحكم القوي يشابه التحكم الأمثلي من ناحية السعي لتحقيق استقرار النظام، والتقليل من قيمة تابع الكلفة المعبرة عنه في العلاقة الآتية [9][3]:

$$J = \| \mathbf{x} \|_Q^2 + \| \mathbf{u} \|_R^2 \quad (16)$$

وينتج عن اتباع هذه المنهجية قانون تحكم خطي يعبر عنه وفق العلاقة الآتية:

$$u = k_c x \quad (17)$$

حيث: k_c شعاع ربح المتحكم

x : شعاع متحولات الحالة.

ويكمن الاختلاف في طريقة حساب شعاع الربح k_c ، حيث إنه بدلاً من البحث عن حل معادلة ريكاتي، ينبغي البحث عن حل مجموعة من متراجحات ريكاتي عند زوايا الفراغ المحدب الذي تتغير ضمنه بارامترات النظام، وبمعنى آخر البحث عن شعاع ربح التغذية العكسية للحالة (k_c) ومصفوفة (P_c) اللذين يحققان العلاقة الآتية:

$$(Q + k_c' R k_c) + (A^{(i)} + B^{(i)} k_c)' P_c + P_c (A^{(i)} + B^{(i)} k_c) < 0 \quad (18)$$

$$i = 1, 2, \dots, 2^l$$

المتراجحة في العلاقة (18) لا تمثل مسألة LMI (Linear Matrix Inequality) لوجود حدود

ثنائية الجداء ($P_c k_c$) وأخرى تربيعية ($k_c' R k_c$). يمكن تحويل المسألة السابقة لمسألة LMI من

خلال إجراء تغيير ببعض المجاهيل وبعض الإصلاحات الأخرى، حيث يتم تحويل العلاقة (18)

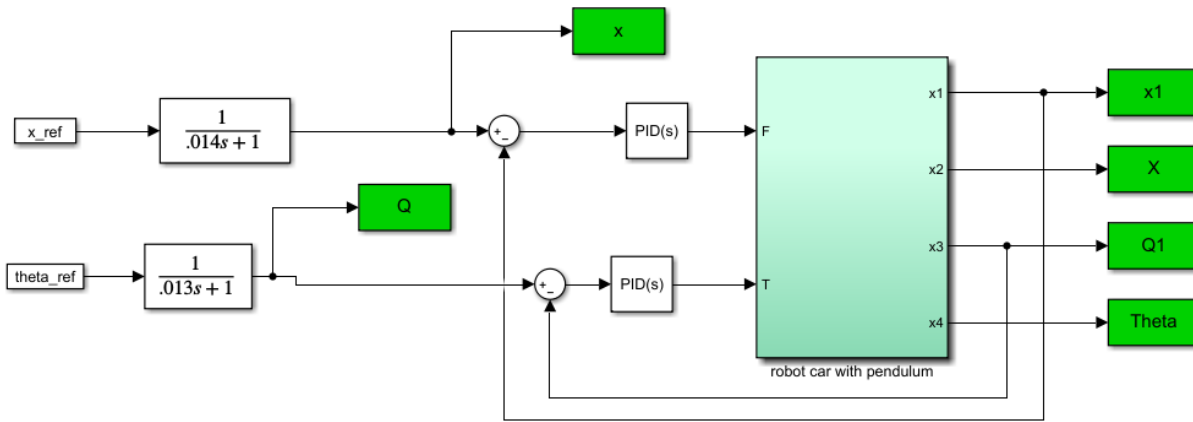
لمعادلة خطية من السهل حلها في بيئة MATLAB عبر استخدام الكود LMI. نفرض $S_c = P_c^{-1}$

ونستبدل الجداء $(k_c S_c)$ بمجهول جديد N . ثم نضرب طرفي المتراجحة السابقة من الجهة اليمنى واليسرى بالحد S_c لنحصل على المعادلة الآتية:

$$(A^{(i)}S_c + B^{(i)}N) + (A^{(i)}S_c + B^{(i)}N)' + S_cQS_c + N'RN \quad (19)$$

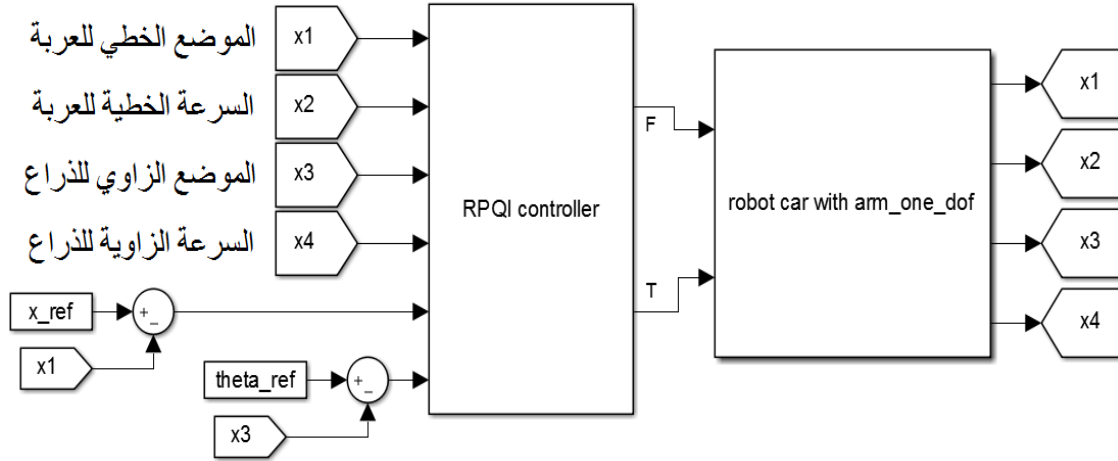
4- تصميم نظام التحكم:

تم تصميم نظامي تحكم، الأول يتضمن منظمات كلاسيكية PI اختيرت ثوابته بشكل تجريبي، مع إضافة مدرج للإشارة المرجعية (تابع نقل بثابت ربح يساوي الواحد) من أجل تخفيف مقدار تجاوز الهدف إلى أقل قيمة ممكنة، وتحسين أداء النظام في الحالة العابرة، أما النظام الآخر فهو يعتمد على منهجية التحكم القوية المدروسة. المخطط الصندوقي لنظام التحكم التقليدي يوضحه الشكل (2). أما المخطط الصندوقي لجملة التحكم ذات الحلقة المغلقة فهو مبين بالشكل (3).



الشكل (2): المخطط الصندوقي لجملة تحكم مغلقة الحلقة في بيئة MATLAB/Simulink

باستخدام منظمات تقليدية PI



الشكل (3): المخطط الصندوقي لجملعة تحكم مغلقة الحلقة في بيئة MATLAB/Simulink

باستخدام منهجية التحكم القوي (RPQI)

4-1- حساب شعاع الربح kc:

حساب ثوابت المتحكم يتم وفق الخطوات الآتية:

1- مناقشة النموذج الرياضي للنظام لأجل تغيير برمترات النظام، حيث إنه لأجل تضاعف الكتل

بمقدار ثلاث مرات فإن فضاء الحالة يكون وفق الشكل الآتي:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 9.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -98 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & -5 \\ 0 & 0 \\ -5 & 55 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F \\ T \end{bmatrix}$$

(20)

أما لأجل انخفاض الكتل إلى الثلث فإن فضاء الحالة سيكون وفق الشكل الآتي:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 9.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -98 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 10 & -50 \\ 0 & 0 \\ -50 & 500 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F \\ T \end{bmatrix}$$

(21)

نلاحظ هنا أنه لدينا ثلاث زوايا للفراغ الذي يتغير ضمنه فضاء الحالة، تعبر عنها المعادلات

(14)، (20) و(21).

2- توسعة فضاء الحالة للنظام، حيث يتم إضافة متحولات حالة جديدة تعبر عن تكامل خطأ موضع

العربة، وتكامل خطأ الموضع الزاوي للذراع، وفق العلاقات الآتية:

$$\zeta_{x1} = x_{1ref} - x_1 \Rightarrow \dot{\zeta}_{x1} = -x_1 \quad (22)$$

$$\zeta_{x3} = x_{3ref} - x_3 \Rightarrow \dot{\zeta}_{x3} = -x_3 \quad (23)$$

إن المعادلة (21) المعبرة عن معادلة النظام عند زاوية الفراغ المقابلة لانخفاض الكتل إلى الثلث

ستصبح وفق الشكل التالي وذلك بعد إضافة المعادلتين (22) و(23) لها فتصبح لدينا المعادلات

المصفوفية الآتية:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{\zeta}_{x1} \\ \dot{\zeta}_{x3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 9.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -98 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ \zeta_{x1} \\ \zeta_{x3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 10 & -50 \\ 0 & 0 \\ -50 & 500 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F \\ T \end{bmatrix} \quad (24)$$

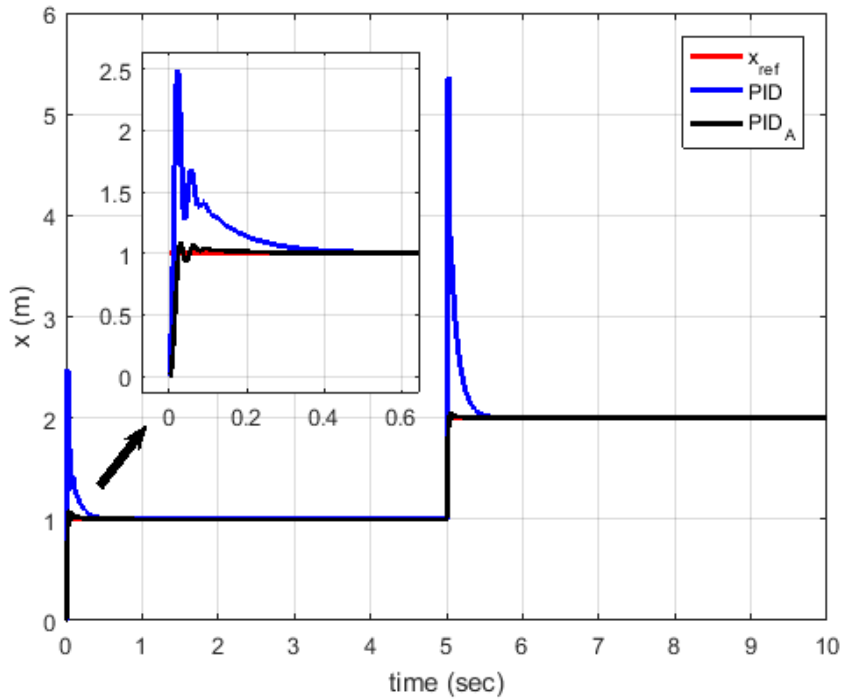
5- نتائج المحاكاة من أجل تطبيق منظمات PID:

تم أولاً مقارنة أداء النظام من أجل استخدام مدرج للإشارة مع حالة عدم استخدام المدرج لتوضيح

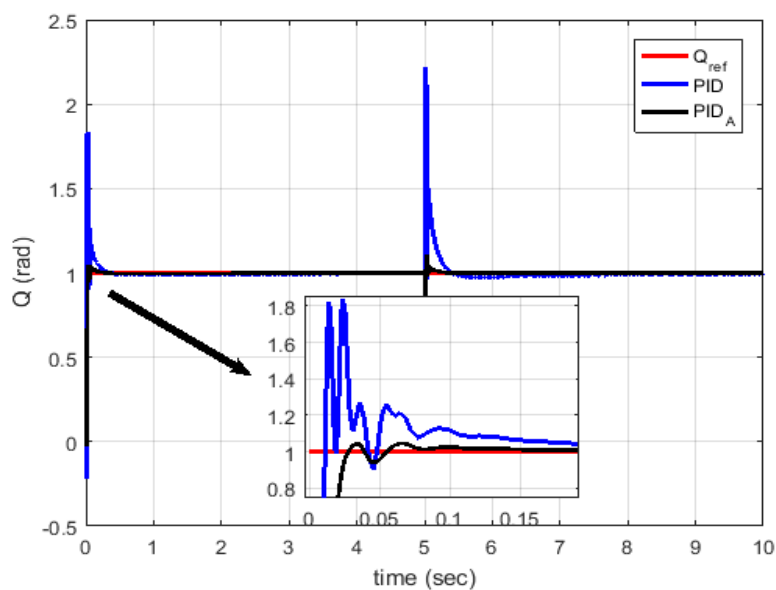
أهمية وجوده.

يبين الشكل (4) والشكل (5) على الترتيب، استجابة النظام من أجل تنظيم موضع العربة وموضع

الذراع، حيث نلاحظ أن أداء النظام تحسن بشكل كبير بعد إضافة المدرج.



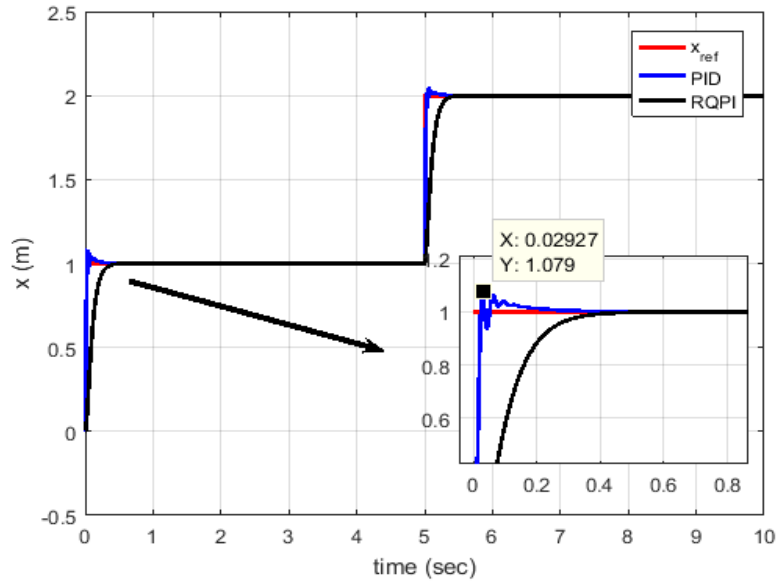
الشكل (4): استجابة النظام من أجل تنظيم موضع العربة باستخدام منظم PID



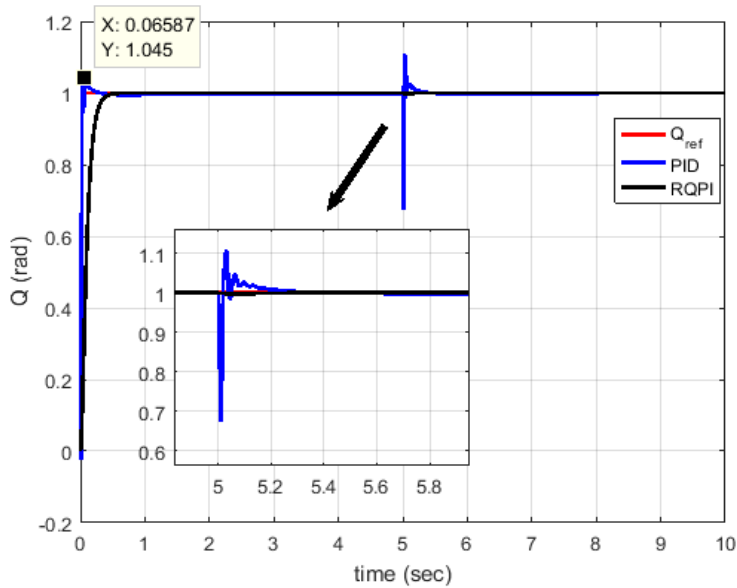
الشكل (5): استجابة النظام من أجل تنظيم موضع الذراع باستخدام منظم PID

6- نتائج المحاكاة من أجل تطبيق المتحكم القوي RPQI مقارنة مع تطبيق منظم PID:

يوضح الشكل (6) استجابة النظام من أجل تنظيم موضع العربة عند القيمة 1[m] ثم الانتقال لمسافة 5[m] عند اللحظة 5[sec]. أما الشكل (7) فيوضح استجابة النظام من أجل تنظيم زاوية الذراع عند القيمة 1[rad] بدءاً من اللحظة 0[sec].



الشكل (6): استجابة النظام لأجل تنظيم موضع العربة

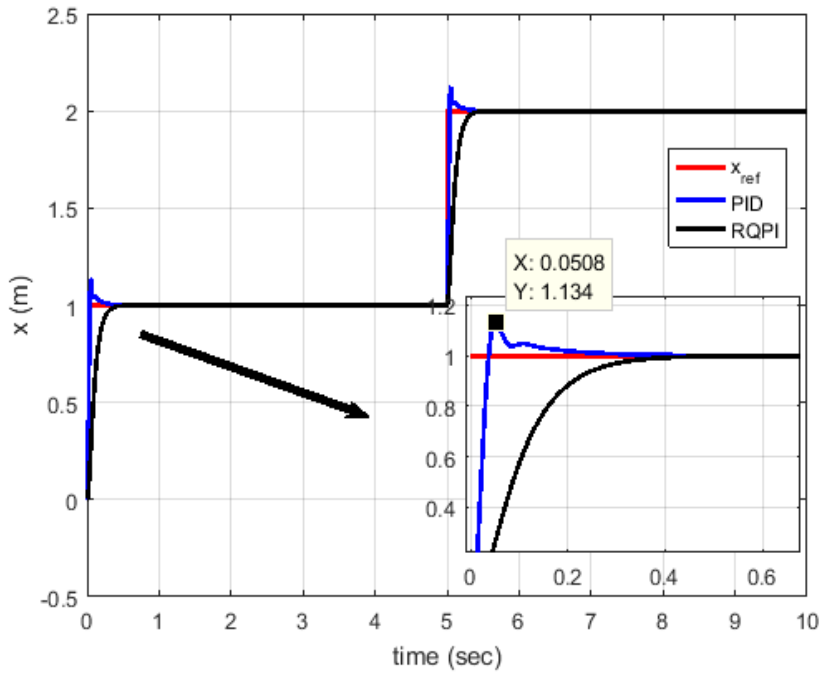


الشكل (7) استجابة النظام لتنظيم الموضع الزاوي للذراع

نلاحظ في الشكل (6) حدوث تجاوز للهدف عند استخدام المنظمات التقليدية مقداره % (8)، كذلك نلاحظ في الشكل (7) حدوث تجاوز للهدف عند استخدام المنظمات التقليدية مقداره % (4) وذلك على الرغم من تطبيق الإشارة المرجعية بشكل متدرج. أما من أجل منهجية التحكم المستخدمة فنلاحظ في الشكلين (6) و(7) أن تجاوز الهدف يساوي الصفر.

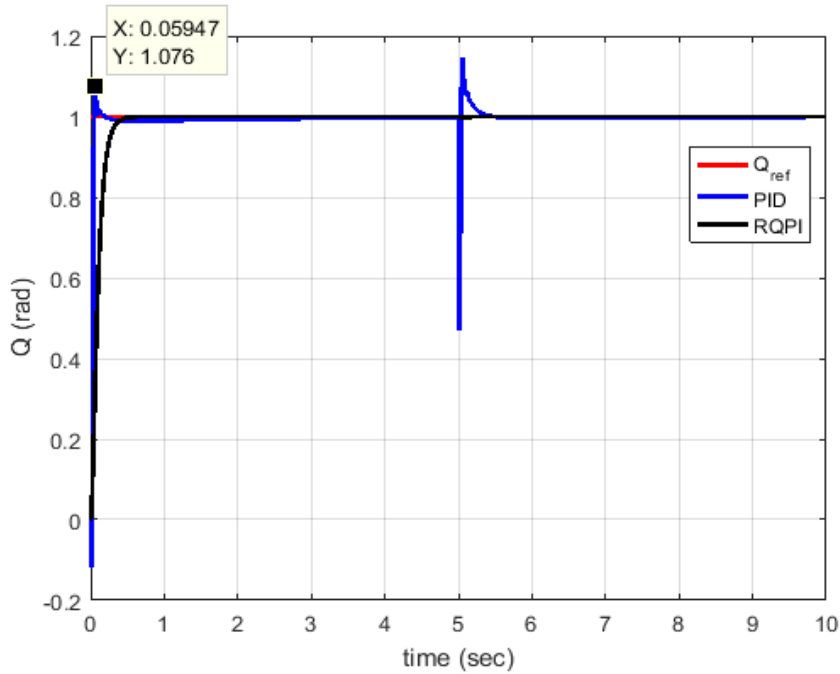
بالعودة للشكل (7) نلاحظ تفوق منهجية التحكم القوي وقدرتها على تحقيق استجابة أسرع. كما يُلاحظ من الشكل (7) أنه عند حدوث انتقال جديد للعربة (اللحظة [5sec]) فإن أداء نظام التحكم التقليدي كان سيئاً وحصل اهتزاز للذراع، بينما كان مقدار التأثير صغيراً جداً عند استخدام المتحكم القوي، مع عودة الذراع إلى الموضع المطلوب خلال زمن صغير جداً.

تم اختبار أداء النظام من أجل زيادة الكتل إلى ثلاثة أضعاف القيمة، فكانت استجابة النظام كما يظهر في الشكلين (8) و(9) حيث يُلاحظ مدى قوة وكفاءة المتحكم القوي تجاه تغير برامترات النظام، فرغم زيادة قيمة الكتلة بمقدار ثلاث مرات إلا أن استجابة النظام قد حافظت على شكلها مما يعني استقراراً كبيراً للنظام وقدرته على تحقيق ملاحقة دقيقة وسريعة رغم حدوث تغير في قيم البارامترات، أما من أجل حالة استخدام منظم PID، فنلاحظ أن مقدار تجاوز الهدف قد زاد ليصل إلى - (8) % (13)، ويرجع ذلك إلى أن ثوابت المنظمات التقليدية التي يتم اختيارها بشكل تجريبي، قد تكون مناسبة في حالات ما، وقد تفشل في حالات أخرى، أما من أجل التحكم القوي فإن ثوابت المتحكم يتم حسابها من أجل مجال معروف ومحدد لثوابت النظام).



الشكل (8): استجابة النظام لأجل تنظيم موضع العربة

وزيادة كتلة العربة والذراع بمقدار ثلاث مرات

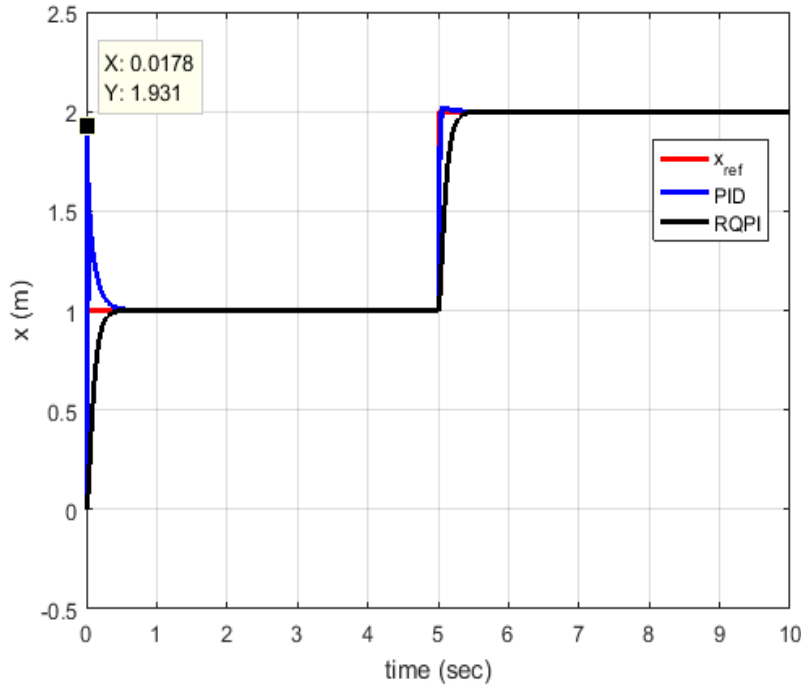


الشكل (9): استجابة النظام لأجل تنظيم الموضع الزاوي للذراع وزيادة كتلة العربة والذراع

بمقدار ثلاث مرات

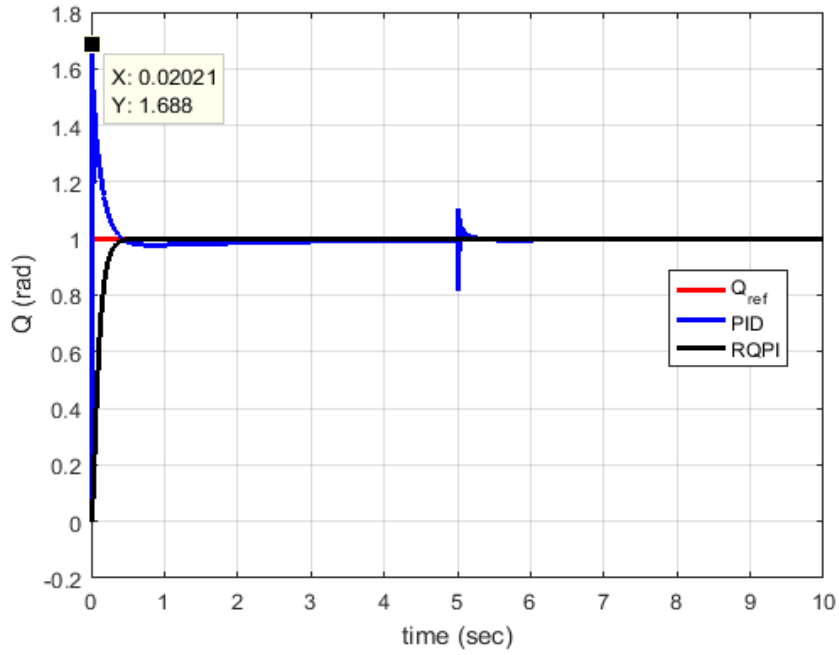
تم اختبار أداء النظام عند إنقاص الكتل إلى ثلاثة أضعاف القيمة حيث يُلاحظ من الشكلين (10) و(11) أن أداء المتحكم القوي مازال هو الأفضل والأكثر متانة تجاه تغير بارامترات النظام، فرغم إنقاص قيمة الكتلة بمقدار ثلاث مرات إلا أن استجابة النظام قد حافظت على شكلها، أما من أجل حالة استخدام منظم PID، فنلاحظ أن مقدار تجاوز الهدف قد زاد ليصل إلى % (70-90) وذلك على الرغم من طلب الإشارة المرجعية بشكل متدرج.

كذلك نلاحظ أفضل أداء المتحكم القوي تجاه وجود اضطراب خارجي يؤثر على النظام، أخيراً، نلاحظ أن المتحكم القوي كان يحقق زمن استجابة أكبر من أجل تنظيم الموضع الزاوي للذراع مقارنة مع حالة تطبيق المنظم PID.



الشكل (10): استجابة النظام لأجل تنظيم موضع العربة

وإنقاص كتلة العربة والذراع بمقدار الثلث



الشكل (11): استجابة النظام من أجل تنظيم الموضع الزاوي للذراع وإنقاص كتلة العربة والذراع بمقدار الثلث

6- تلخيص النتائج:

بإعادة سبر واستعراض نتائج المحاكاة التي تم تقديمها خلال هذا البحث يمكن تلخيصها على الشكل الآتي:

أولاً: من أجل قيمة اسمية للكتلة وفق الجدول التالي:

نظام التحكم	تجاوز الهدف	زمن الاستجابة	الخطأ الستاتيكي	التأثر بالاضطرابات الخارجية
PID_A	5-8 %	0.3 sec	0	كبير نسبياً
RPQI	0 %	0.2 sec	0	قليل نسبياً

ثانياً: من أجل زيادة الكتلة تم الحصول على النتائج الآتية:

نظام التحكم	تجاوز الهدف	زمن الاستجابة	الخطأ الستاتيكي	التأثر بالاضطرابات الخارجية
PID_A	8-13 %	0.3 sec	0	كبير نسبياً
RPQI	2 %	0.2 sec	0	قليل نسبياً

أخيراً: من أجل إنقاص الكتلة تم الحصول على النتائج الآتية:

نظام التحكم	تجاوز الهدف	زمن الاستجابة	الخطأ الستاتيكي	التأثر بالاضطرابات الخارجية
PID_A	70-90 %	1.5 sec	0	كبير نسبياً
RPQI	0 %	0.3 sec	0	قليل نسبياً

7 - الخاتمة والاستنتاجات:

تم في هذا البحث تصميم نظام تحكم برمترى لنظام العربة-ذراع، حيث تم تمثيل النظام وفق نموذج خطي مرتاب ومن ثم حساب ثوابت التغذية العكسية بالاعتماد على كود LMI في برنامج الماتلاب.

أظهرت نتائج المحاكاة كفاءة النظام المقترح مقارنة مع حالة استخدام المنظمات التقليدية، وقدرته على تحقيق الملاحقة الدقيقة والسريعة للإشارات المرجعية في حالة القيم الاسمية لبرمترات النظام في حالة تغييرها، مقدار تجاوز الهدف لا يزيد عن % (2). كذلك تقدم المنهجية المقترحة أيضاً كفاءة كبيرة تجاه الاضطرابات الخارجية المؤثرة على النظام.

References:

- [1] Abdulrahman Huseen Alassaad "Optimal Controllers Based Drive System Implementation to Control Three Phase Induction Motor" Aleppo University, Faculty of Electrical & Electronic Engineering, Electrical Drive Department-2019
- [2] Oualid Araar, and Nabil Aouf "Full Linear Control of a Quadrotor UAV, LQ vs H_{∞} " IEEE-2014
- [3] Ahmad M. El-Nagar, Mohammad El-Bardini, Nabila M. EL-Rabaie "Intelligent control for nonlinear inverted pendulum based on interval type-2 fuzzy PD controller" Alexandria Engineering Journal
www.elsevier.com/locate/aej-www.sciencedirect.com-2014
- [4] Asslan M, Joukhadar A, Fares B,2018- " Robust Strategy for Speed Control of Permanent Magnet Synchronous Motor in Quadrotor Driven System " Res.j. of Aleppo Univ ,139
- [5] Kyriakos Mouratis, John Fasoulas and Michael Sfakiotakis "Development and Control of a Low-Cost Cart-Pendulum Educational Platform" Technological Educational Institute (T.E.I.)-2018
- [6] Saqib Hasnain¹, Umer Hameed Shah¹, Sang-Hei Choi², and Keum-Shik Hong¹
"Dynamics and Vibrational Control of an Underwater Inverted Pendulum"



(ICCAS)-2016

[7] Kei Katayama, Yohei Hosoe, Tomomichi Hagiwara “Demonstrating the Effectiveness of Noncausal LPTV Scaling through Control Experiments with Cart Inverted Pendulum” Science Direct (IFAC)-2013

[8] Jesus Mendoza Avila, Ismael Castillo, Rafael Iriarte “Higher Order Sliding Mode stabilization of an inverted cart-pendulum system” Science Direct (IFAC)-2017

[9] Al-kadaa Mohamed Ata, Alhussian Abdulrahman,2019-“ Robust Strategy for Position Control of Permanent Magnet Synchronous Motor Used for Robot Systems” <http://kmshare.net/isc2019/>

[10] Al-issa R., Naolo A., Joukhadar A.,2017-“ Creating the general dynamic mathematical model of a robotic robot system with two levels of freedom combined with an electromechanical operator – electronic switch”Res.j.of Aleppo Univ ,136

[11] Yury Rassadin “Invariance to Unmatched Bounded Disturbances in Inverted Pendulum Stabilization Control” IEEE-2020

[12] Sudarshan M Samarasinghe, Manukid Parnichkun “Pitch Control of an Active Omni-wheeled Unicycle using LQR” (ICA-SYMP)-2019

قواعد البيانات التي تمت فهرسة المجلة ضمنها



دار المنظومة
DAR ALMANDUMAH
الرواد في قواعد المعلومات العربية

ESJI
www.ESJIndex.org

Eurasian
Scientific
Journal
Index

AskZad

Academic Digital Library
المكتبة الرقمية العربية



INTERNATIONAL
Scientific Indexing



CiteFactor
Academic Scientific Journals

ننمحة
shamaa





جامعة حلب في المناطق المحررة

Aleppo university in the liberated areas